

Association
Française
d'Hydraviation



Météorologie, aérologie et hydrodynamique à l'usage des pilotes d'hydravion



Derry Grégoire

AVERTISSEMENT

Ce mémoire a pris une partie de ses sources sur internet et dans la littérature universitaire traitant des interactions entre l'atmosphère et les étendues d'eau (lacs, mers, fleuves).
Le rédacteur en a tiré les éléments susceptibles d'intéresser les pilotes d'hydravions dans la pratique de leur art.

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT.....	1
TABLE DES MATIÈRES.....	2
PRÉFACE.....	5
L' AUTEUR.....	6
MÉTÉO ET AÉROLOGIE DU PILOTE HYDRAVIONS.....	7
1. INTRODUCTION.....	7
1.1. Contexte général de l'impact de la météorologie, de l'aérologie et de l'hydrodynamique des plans d'eau sur la pratique de l'hydravion.....	7
1.2. Importance de la connaissance de l'environnement aérien et de l'élément liquide pour les pilotes d'hydravions.....	7
2. MÉTÉOROLOGIE ET AÉROLOGIE DU PILOTE D'HYDRAVION.....	7
2.1. Échelle d'analyse météorologique pertinente pour la pratique de l'hydravion.....	7
2.1.1. Importance de l'échelle locale dans l'analyse météorologique des plans d'eau.....	7
2.1.2. Besoin d'une compréhension fine des phénomènes aérologiques et hydrodynamiques locaux.....	8
2.1. Échelles des mouvements atmosphériques.....	8
2.1.1. Les mouvements à grande échelle et leur impact sur la météorologie planétaire.....	8
2.1.2. Les mouvements à l'échelle d'une région, l'échelle de Beaufort.....	9
2.2.3. Focus sur les mouvements à petite échelle, particulièrement importants pour les pilotes d'hydravions.....	11
2.2. Influence des étendues d'eau sur l'environnement climatique.....	11
2.3.1. Impact significatif des vastes étendues d'eau sur le climat régional.....	11
2.3.4. Rôles des plans d'eau de tailles variées dans la dynamique climatique locale.	12
3. LA MICRO-MÉTÉOROLOGIE DU PILOTE D'HYDRAVIONS.....	12
3.1. Structure des basses couches atmosphériques et analyse des conditions de vol..	12
3.1.1. Division schématique des basses couches de l'atmosphère près du sol...	12
3.1.2. Les subdivisions de la CLA.....	13
3.1.3. Particularités des conditions de vol au bas de la CLA.....	13
3.1.4. Perspicacité et faculté d'analyse du pilote hydravions.....	14
3.1.5. Ressources et outils pour l'analyse aérologique.....	14

2.2.2.4. Présence de longues vagues.....	35
2.2.3. Le déferlement.....	35
2.2.4. Haut-fond et banc de sable.....	37
2.3. Les classifications de l'état de la mer.....	38
2.3.1. L'échelle de Douglas.....	38
2.3.2. L'échelle de Rivet.....	38
3. LES OUTILS À LA DISPOSITION DU PILOTE.....	40
4. CONCLUSION.....	41
Contacts et références utiles.....	42

PRÉFACE

par Yves Kerhervé

Quel est le grand bonheur de l'hydraviateur, en dehors des aspects purement techniques et manœuvriers de l'amerrissage et du décollage ? C'est, bien sûr, de se poser dans un tas d'endroits un peu secrets, parfois presque inaccessibles autrement, sur des lacs, des rivières, en mer.

Mais bien sûr, dans ces endroits magnifiques, pas de METAR ni de TAF et souvent les conditions météorologiques sont complexes, la direction des vents variable et pas toujours facile à estimer, de même que la force et le gradient de ces vents !

L'aérologie est elle-même plus compliquée que sur un aéroport généralement situé dans une zone bien dégagée. Se poser en lisière d'une forêt, dans la boucle d'une rivière, ou une petite baie en mer nécessite une analyse fine de l'environnement.

Encore une spécificité, l'eau, elle peut être douce ou salée, lisse ou plus ou moins agitée, avec du clapot, de la houle et même parfois des houles croisées, avec des longueurs d'onde et des amplitudes parfois difficile à estimer.

Bref, Il faut donc à notre pilote d'hydravion, une connaissance un peu spécifique et assez vaste pour bien apprécier l'environnement de son point d'amerrissage et de décollage.

Je l'ai dit, piloter un hydravion est un grand bonheur, mais comme pour le vol en montagne, cela nécessite des compétences particulières et une approche prudente et raisonnée de l'environnement.

Ce mémoire est fait pour nous y aider, pour élargir les connaissances déjà vastes que nous donnent à tous notre formation de pilote « terrestre ».

Bien sûr, ce bonheur serait plus grand encore si nous avions la possibilité d'aller nous poser partout où ce n'est pas interdit, comme cela existe dans d'autres parties du monde plutôt que de devoir faire un travail administratif compliqué pour « ouvrir » des hydrosurfaces, c'est un autre sujet et c'est une des missions (travail d'hercule !) que s'est assigné l'AFH, d'essayer de faire un peu évoluer ce point !

En attendant, profitons de ce remarquable mémo pour approfondir nos connaissances et notre compréhension du milieu de notre belle activité hydro-aéronautique.

Bon vol à tous.

L' AUTEUR

Derry Grégoire :

Vice-président et co-fondateur d'Aquitaine Hydravions

Vice-président des l'association des Amis du Musée de l'Hydraviation

Membre du Conseil d'Administration de l'Association Française d'Hydraviation

Field Director France de la SPA (Seaplane Pilot Association)

Ex pilote Aéronavale -Ex pilote de Ligne- Instructeur et examinateur hydravion avion et ULM

MÉTÉO ET AÉROLOGIE DU PILOTE HYDRAVIONS

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte général de l'impact de la météorologie, de l'aérologie et de l'hydrodynamique des plans d'eau sur la pratique de l'hydravion

Dans cette étude nous allons nous attarder sur les particularités propres à la météorologie à l'aérologie et à l'hydrodynamique **de proximité** impactant directement la pratique de l'hydravion. Ce *mémoire* ne reviendra donc pas sur le contenu du cours de météorologie dispensé dans le cadre de la formation initiale du pilote.

Le pilote d'hydravion évolue dans un environnement bien plus « riche » que le pilote d'avion terrestre. Il est en permanence confronté à l'élément air, mais aussi à l'élément liquide, que ce soit la mer ou les eaux intérieures (lacs et rivières) et bien souvent en dehors d'espaces contrôlés où il est difficile d'obtenir les paramètres d'ordre météorologique habituellement fournis, soit par un contrôleur aérien ou encore par le pilote d'un autre aéronef à proximité. Il sera donc livré à lui-même et devra être apte à déterminer la direction et la force du vent, l'état de surface du plan d'eau, il devra évaluer sa hauteur au-dessus de l'eau, la longueur disponible pour amerrir ou décoller, la hauteur des obstacles sur sa trajectoire etc...

1.2. Importance de la connaissance de l'environnement aérien et de l'élément liquide pour les pilotes d'hydravions

Le pilotage d'un hydravion nécessite donc une bonne connaissance du milieu, en particulier de la micro-aérologie de l'interface terre/mer ou lacs ainsi que les particularités de l'élément liquide sur lequel il a l'intention d'évoluer. L'objectif de cette étude est de donner les clés permettant au pilote d'hydravion de parfaire ses connaissances en matière de micro-aérologie des bords de mer ou des plans d'eau, sachant d'une part qu'il ne s'agit pas d'une science exacte de par la complexité des paramètres entrants dans les équations aérologiques et hydrodynamiques prédictives et d'autre part que ces connaissances ne permettent que de dégager les grandes lignes de l'analyse d'un plan d'eau, chaque site ayant ses propres particularités.

2. MÉTÉOROLOGIE ET AÉROLOGIE DU PILOTE D'HYDRAVION

2.1. Échelle d'analyse météorologique pertinente pour la pratique de l'hydravion

2.1.1. Importance de l'échelle locale dans l'analyse météorologique des plans d'eau.

Le pilote a, lors de sa formation de base, appris les grands principes de la météorologie appliqués à l'aviation. Cette formation doit lui permettre d'analyser les effets des paramètres météorologiques à l'échelle d'un vol ou d'une série de vols afin de les réaliser avec les marges de sécurité adéquates. Cependant, si un phénomène à l'échelle synoptique (plusieurs centaines de kilomètres) comme le passage d'un front peut être déterminant lors de la préparation d'un déplacement en avion, il n'en reste pas moins que cela ne suffit pas à l'échelle locale particulièrement pour un plan d'eau. En effet, les variations de vent générées par des phénomènes locaux de plus petite échelle peuvent créer des gradients de vent en force et en direction, plus importants et différents des variations générées à l'échelle synoptique. Il ne faut pas se fier aveuglément aux prévisions météorologiques issues des modèles généralistes à grande échelle en vue d'une utilisation à micro-échelle.

2.1.2. Besoin d'une compréhension fine des phénomènes aérologiques et hydrodynamiques locaux

Le pilote d'hydravion doit donc acquérir une connaissance plus fine des phénomènes aérologiques locaux propres aux plans d'eau qu'il souhaite utiliser ainsi qu'une connaissance de l'hydrodynamique de ces plans d'eau (hauteur des vagues, clapot, houle, courants marins...). Bien qu'aidé en cela par l'ensemble des bulletins météorologiques aéronautiques d'aérodromes à proximité et des bulletins de prévision purement marine, il n'atteindra pas la précision nécessaire à une analyse très locale des paramètres météorologiques du plan d'eau utilisé en ne s'appuyant que sur ces seules données. Des renseignements pris auprès d'usagers du plan d'eau peuvent s'avérer être une aide précieuse pour une utilisation en hydravion.

2.1. Échelles des mouvements atmosphériques

Il s'agit, dans le cadre de cette étude de préciser, sur l'échelle des espaces où se situent les différents phénomènes atmosphériques, le niveau de celle qu'il convient d'investiguer afin d'acquérir les informations les plus à même de faciliter le vol en hydravion.

2.1.1. Les mouvements à grande échelle et leur impact sur la météorologie planétaire

Il s'agit de l'échelle synoptique ou planétaire, soit une taille supérieure à la centaine de kilomètres et à la durée de vie de plusieurs jours, voire plusieurs semaines. Les phénomènes atmosphériques à ce niveau d'échelle contribuent à la circulation à l'échelle planétaire et sont responsables des tendances météorologiques à long terme. **La climatologie** traite de cette discipline.

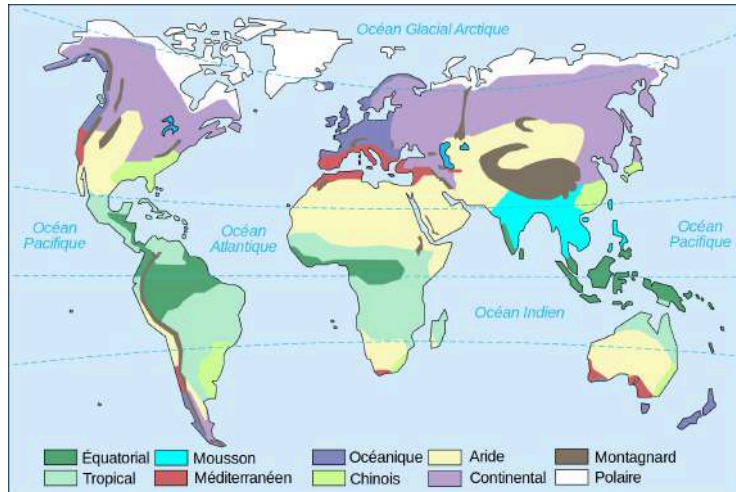


Figure 1. Représentation des climats à l'échelle du globe.

2.1.2. Les mouvements à l'échelle d'une région, l'échelle de Beaufort

Il s'agit du suivi de l'évolution des masses d'air sur une région donnée. La **météorologie** traite de cette discipline. (Fig 3)

C'est à ce niveau que l'on trouve l'échelle de Beaufort qui donne sur treize degrés la vitesse moyenne du vent sur une durée de dix minutes. Elle est utilisée dans les milieux maritimes. (Fig 2)

On peut retrouver facilement la correspondance entre force du vent et force Beaufort et inversement.

- En dessous de 8 Beaufort (Bf) :
 - $5 \times (Bf - 1) = Kts$
 - $(Kts / 5) + 1 = Bf$
- A partir de 8 Beaufort :
 - $5 \times Bf = Kts$
 - $(Kts / 5) = Bf$

ECHELLE DE BEAUFORT

Force	Appellation	Vitesse du vent		Etat de la mer	Effets à terre
		noeud	km/h		
0	calme	1	1	Mer d'huile, miroir	La fumée monte droit
1	très légère brise	1 à 3	1 à 5	Mer ridée	La fumée indique la direction du vent
2	légère brise	4 à 6	6 à 11	Vaguelettes	On sent le vent au visage
3	petite brise	7 à 10	12 à 19	Petits moutons	Les drapeaux flottent
4	jolie brise	11 à 16	20 à 28	Nombreux moutons	Le sable s'envole
5	bonne brise	17 à 21	29 à 38	Vagues, embruns	Les branches des pins s'agitent
6	vent frais	22 à 27	39 à 49	Lames, crêtes d'écume étendues	Les fils électriques sifflent
7	grand frais	28 à 33	50 à 61	Lames déferlantes	On peine à marcher contre le vent
8	coup de vent	34 à 40	62 à 74	Les crêtes des vagues partent en tourbillon d'écume	On ne marche plus contre le vent
9	fort coup de vent	41 à 47	75 à 88		
10	tempête	48 à 55	89 à 102	Les embruns obscurcissent la vue, on ne voit plus rien	Les enfants de moins de 12 ans volent
11	violente tempête	56 à 63	103 à 117		
12	ouragan	64 et plus	118 et plus		

Figure 2. Échelle de Beaufort.

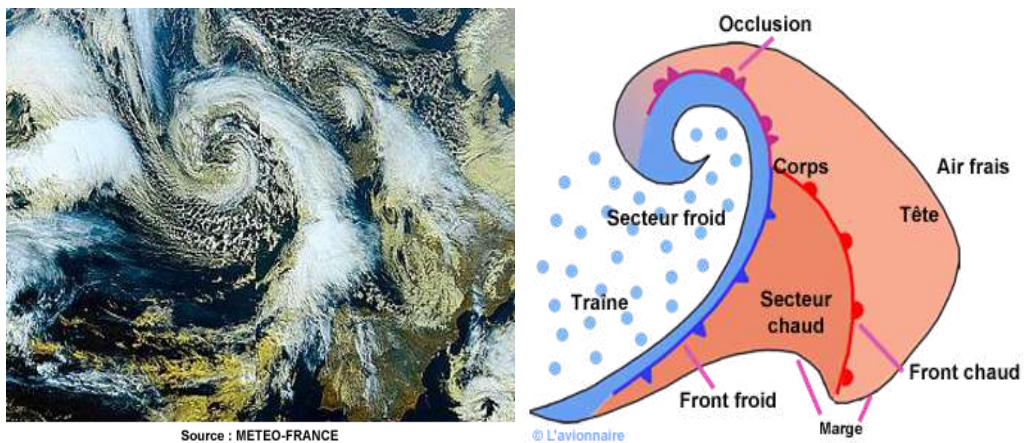


Figure 3. Image satellite et synthétique d'une perturbation.

2.2.3. Focus sur les mouvements à petite échelle, particulièrement importants pour les pilotes d'hydravions

Ces mouvements ont une taille inférieure au kilomètre et ont une durée de vie de quelques minutes. Ils sont liés à la turbulence et sont générés dans la couche limite atmosphérique par la présence d'obstacles ou par la rugosité des surfaces. **L'aérologie** s'intéresse à cette discipline (micro-échelle). **C'est particulièrement à ce niveau d'échelle que le pilote d'hydravion portera ses investigations.** (Fig 4)

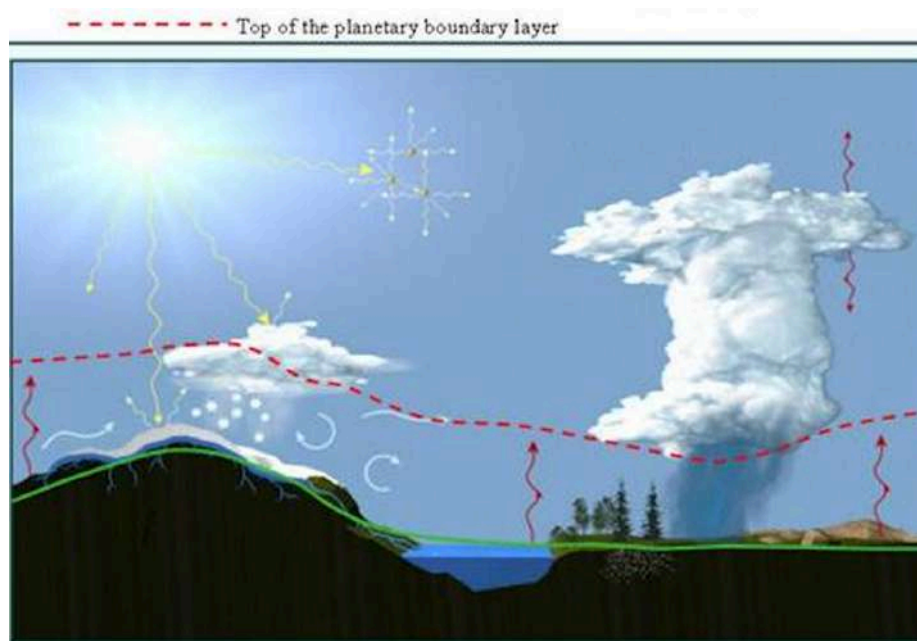


Figure 4. L'aérologie locale.

Les mouvements de taille intermédiaire assurent la transition entre les précédents.

2.2. Influence des étendues d'eau sur l'environnement climatique

2.3.1. Impact significatif des vastes étendues d'eau sur le climat régional

La présence géographique de vastes étendues d'eau génère des changements climatiques qui peuvent être importants selon la taille des plans d'eau considérés. C'est le cas par exemple de la région des grands lacs en Amérique du Nord (lac Érié, lac Michigan etc...). (Fig 5)



Figure 5. Région des grands lacs USA.

2.3.4. Rôles des plans d'eau de tailles variées dans la dynamique climatique locale

Cependant, certaines études ont été conduites qui mettent en évidence le rôle possible des étangs de petites et moyennes tailles dans la dynamique climatique locale. Ces études, prenant en compte plusieurs paramètres climatiques tels que la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent sur ces étendues d'eau, ont démontré leur implication dans l'évolution des microclimats aux échelles locales. Ainsi, il est possible de mettre en évidence l'individualisation d'un zonage microclimatique local intégrable dans les modèles climatiques régionaux.

3. LA MICRO-MÉTÉOROLOGIE DU PILOTE D'HYDRAVIONS

- Le contexte des évolutions à très basse hauteur et sur les plans d'eau

Par définition, le pilote d'hydravion a vocation à se poser, évoluer, décoller ou encore stationner sur des plans d'eau que ce soit en région côtière en mer ou sur les eaux intérieures. De plus, le pilote d'hydravion vole bas, voire très bas sur l'eau ce qui est l'une des particularités de la discipline.

Au même titre que le marin adepte de voile, il doit parfaire ses connaissances en micro-météorologie seule discipline capable de fournir des informations pertinentes concernant la structure des mouvements à petite échelle...On entre ici dans le domaine d'une aérologie plus spécifique au pilote d'hydravion.

3.1. Structure des basses couches atmosphériques et analyse des conditions de vol

3.1.1. Division schématique des basses couches de l'atmosphère près du sol

La Couche Limite Atmosphérique (CLA), (Fig 6) ou la présence du sol perturbe le champ de vitesse du vent. Son épaisseur varie de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres en fonction de la vitesse du vent, de la rugosité des sols, de l'ensoleillement variable suivant les lieux et l'heure de la journée.

L'Atmosphère Libre, bien plus haut à plusieurs kilomètres de hauteur, loin de l'influence du sol.

COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE

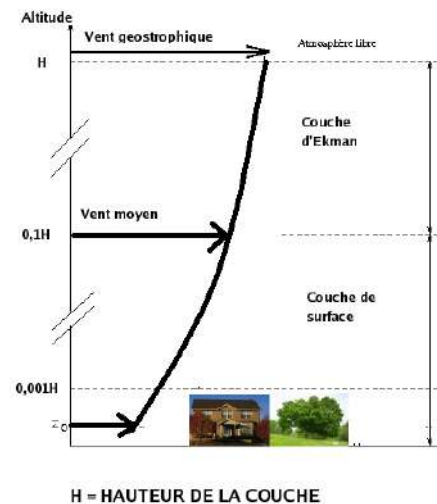


Figure 6. Couche Limite Atmosphérique.

Dans la CLA, près de la surface terrestre, la présence du sol et dans une moindre mesure de l'eau donne naissance à une forte agitation appelée turbulence. Elles sont dues en partie aux forces de frottement sur le sol et aux gradients thermiques de la masse d'air.

Plus haut, en Atmosphère libre, le vent subit peu les frottements de surface mais beaucoup plus la force de Coriolis et sa direction se rapproche de celle du vent synoptique.

3.1.2. Les subdivisions de la CLA

Schématiquement, la CLA est divisée en couches stratiformes.

La couche d'Ekman qui est la partie supérieure de la CLA. La structure du vent est influencée par le frottement de l'air sur la surface terrestre, par la stratification thermique de l'air et par la force de Coriolis. Avec l'altitude les effets des frottements au sol deviennent négligeables devant l'effet de la force de Coriolis. La direction du vent subit une rotation qui atteint à son sommet celle du vent géostrophique.

La couche de surface qui est la couche directement en contact avec le sol. La force de Coriolis y est négligeable, la direction du vent y est constante et la structure du vent y est uniquement déterminée par les effets dynamiques engendrés par le sol et par la stratification thermique de l'air.

La sous-couche rugueuse qui est la partie inférieure de la couche de surface. L'épaisseur de cette couche varie de quelques dixièmes de millimètres sur l'eau à quelques dizaines de mètres. Dans cette zone l'écoulement de l'air est fortement turbulent.

3.1.3. Particularités des conditions de vol au bas de la CLA

Le pilote d'hydravion évoluant au plus bas de la CLA en général à proximité de côtes ou rivages, devra être vigilant et anticiper les effets des brusques changements des vents en force et direction générés près du sol par les habitations, les reliefs, la végétation...qui se propagent bien en aval sur le plan d'eau.

Dans cette couche d'air immédiatement à proximité et au contact de l'eau, on peut rencontrer des vents de 30 noeuds à 30 mètres, 25 noeuds à 15 mètres, 15 noeuds à 5 mètres et enfin moins de 5 noeuds au ras de l'eau.

A l'échelle micrométrique cette zone est le siège de turbulences.

On distingue la *turbulence mécanique* générée par le cisaillement et les obstacles et la *turbulence d'origine thermique* générée par la distribution de la température au sein de la masse d'air. Le rapport entre le gradient de température et le gradient adiabatique (taux de décroissance de la température d'une masse d'air s'élevant sans échange de chaleur) détermine la sensibilité de la masse d'air à la turbulence thermique. En atmosphère stable on sait que la turbulence thermique diminue voire disparaît alors qu'en atmosphère instable elle a tendance à augmenter. Lors du vol, la connaissance du type de masse d'air dans lequel on évolue permet d'anticiper la présence potentielle de turbulences.

D'un point de vue théorique, le vent, en un point, peut être défini comme la vitesse de la particule atmosphérique localisée en ce point. Le réseau d'observation météorologique n'effectue que la mesure de la vitesse horizontale du vent. A l'échelle synoptique, la composante verticale (de l'ordre de 1cm/seconde) est très inférieure à la composante horizontale et est donc considérée comme négligeable. En revanche, à l'échelle locale, aérologique, ces vitesses sont comparables mais les phénomènes sont trop aléatoires pour être évalués de manière systématique.

3.1.4. Perspicacité et faculté d'analyse du pilote hydravions

Le pilote d'hydravion qui vole très bas près de la surface de l'eau, aurait besoin d'avoir une évaluation quantifiée de ces paramètres liés au vent afin de se faire une idée des conditions de vol qu'il est susceptible de rencontrer. Il devra donc être perspicace et performant pour évaluer empiriquement ces paramètres. Seules la connaissance théorique et l'expérience du pilote lui permettront de compenser ce manque d'informations.

Le pilote d'hydravion qui aborde un plan d'eau afin d'y évoluer, doit se poser à minima les questions suivantes :

- Quel est l'effet local prédominant à prendre en compte pour appréhender les évolutions du vent ?
- Quels sont les ordres de grandeurs des variations de vent associés aux principaux effets de site ?
- Quelle est l'influence d'un trait de côte ou rivage complexe sur le développement de la brise thermique ?
- Quelle est l'influence du vent synoptique lors de l'établissement de la brise thermique ?
- Existe-t-il des phénomènes de confluence ?
- Quelle est l'influence sur le vent et la turbulence du relief et des obstacles sur et à proximité du plan d'eau ?

Ce sont en fait les questions que se posent les marins qui régatent en compétition. Le pilote d'hydravion est aussi un « marin ».

3.1.5. Ressources et outils pour l'analyse aérologique

Parmi les connaissances théoriques météorologiques nécessaires au pilote d'hydravion, on peut distinguer celles qui relèvent du cours général du pilote d'avion de celles qui sont liées à un site particulier. Ces dernières, lorsqu'elles sont disponibles et fiables revêtent une grande valeur. Elles proviennent de l'expérience du ou des pilotes qui utilisent habituellement le site, des marins qui naviguent régulièrement sur le plan d'eau ou encore via internet à partir d'applications qui utilisent un nombre restreint et plus ou moins précis de modèles atmosphériques.

L'un des principaux sites Web qui proposent ce type d'informations est « WINDY » qui permet de positionner un pointeur en un lieu précis et d'obtenir l'évolution heure par heure de nombreux paramètres tels que le vent, les rafales, la température, la pluviométrie, (Fig 7) les vagues en amplitude et direction, les courants selon plusieurs modèles atmosphériques et plusieurs types de maillages. (Fig 8)

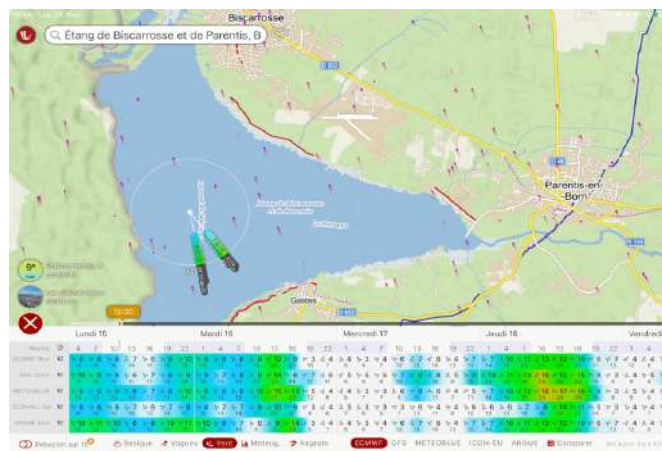


Figure 7. Spot avec report des vents estimés selon plusieurs modèles.

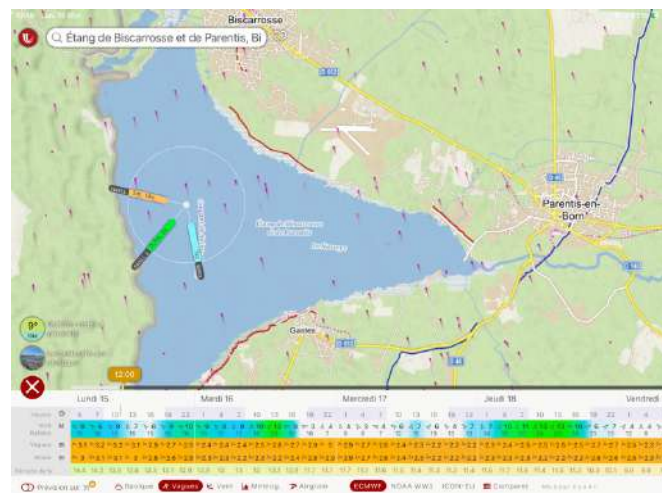


Figure 8. Spot avec prévision de la houle.

Le succès de ce genre d'application Web réside dans sa simplicité d'utilisation. En revanche le piège réside dans le degré de confiance que l'on peut donner aux paramètres présentés qui ne tiennent pas forcément compte de décalages spatiaux temporels (sur la position d'un front par exemple) car l'information présentée pour le plan d'eau concerné correspond en

général à une seule maille de calcul. Ce type d'applications n'est qu'une aide qui mérite d'être corroborée par l'analyse in situ du pilote.

Côté Météo-France, le modèle AROME offre une maille de calcul de l'ordre du kilomètre. Ce modèle intègre des données issues des observations locales (vents doppler des radars météo...) et il peut prendre en compte des éléments au sol plus précis afin de modéliser des îlots de chaleur. Ce modèle voit bien mieux le relief littoral et les autres effets de site qu'un modèle global comme GFS, y compris les brises thermiques, les effets de pointe ou les effets venturi. Il prend mieux en compte les mouvements verticaux et la modélisation des phénomènes convectifs aux abords des côtes, en particulier les orages. Pour la courte échéance, d'une à trente-six heures, la finesse est très supérieure à GFS.

Un autre type de prévision accessible sur internet permet d'éviter l'affichage d'une seule maille qui est une source d'incertitude. Il s'agit de l'affichage sous forme de cartes (champs de vent, de pression etc...). (Fig 9)

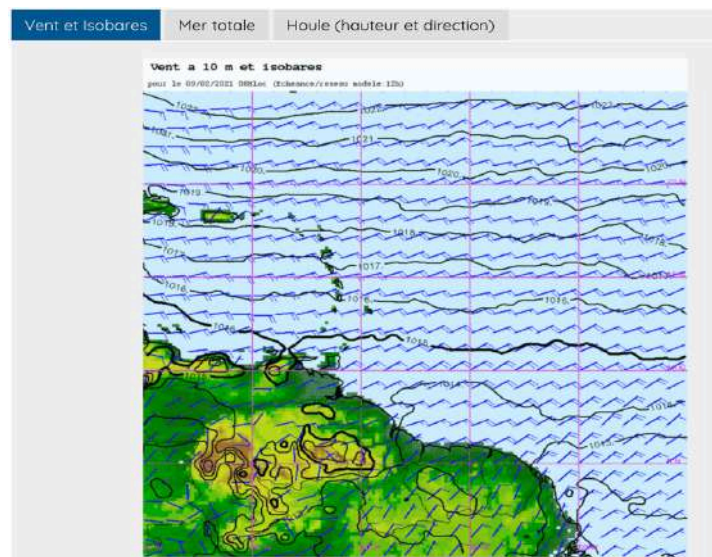


Figure 9. Carte marine des vents locaux.

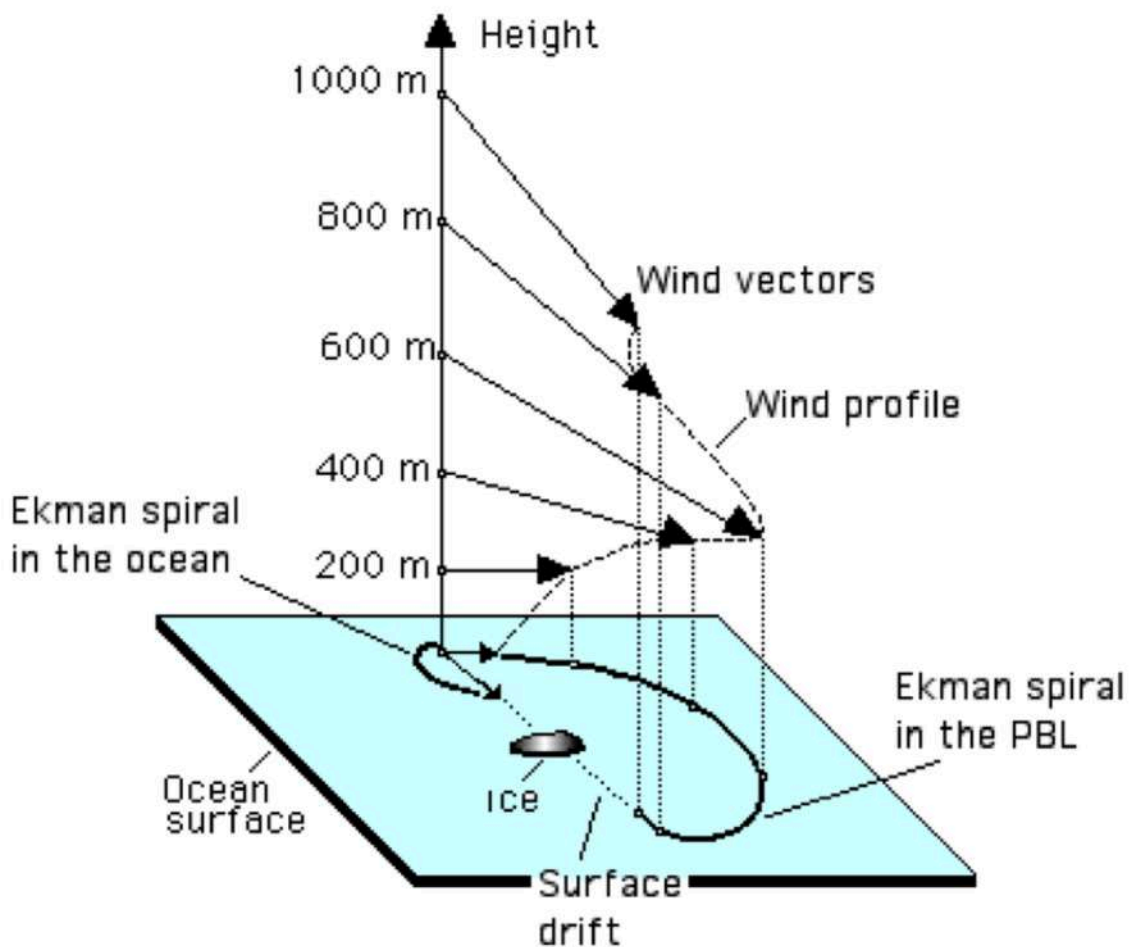
Ces cartes, utilisées en général dans le domaine du nautisme, sont adaptées au vol en hydravion à proximité de la surface de l'eau car les résultats qu'elles affichent le sont dans la maille la plus proche de l'eau.

3.2. Les paramètres influant sur le vent et la turbulence

3.2.1. Effets de la force de Coriolis sur le vent

Le principal effet de cette force mise en évidence par le mathématicien Gustave Gaspard CORIOLIS (1792-1843) se traduit dans l'hémisphère nord par une rotation des vents vers la droite en montant en altitude.

La force de Coriolis est perpendiculaire à la vitesse du vent, orientée vers sa droite dans l'hémisphère nord et provient de la rotation de la terre. Elle est perceptible dans les déplacements atmosphériques en raison de la faiblesse des forces contribuant à mettre l'air en mouvement. (Fig 10)



The Ekman spirals in the atmosphere and in the ocean.

Figure 10. Rotation des vents avec l'altitude.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, cette rotation des vents ne se limite pas à l'échelle synoptique et au vent géostrophique. Des phénomènes plus locaux sont également influencés par cette force. Le vent qui souffle à plus de 500 m de hauteur est très peu perturbé par les frottements sur le sol alors qu'il subit un changement de direction entre le sol et la limite de la CLA. La rotation des brises thermiques en cours de journée est le résultat de plusieurs facteurs dont la force de Coriolis.

3.2.2. Effets de l'influence d'une côte ou d'un rivage sur le vent près du sol

3.2.2.1. La rugosité du sol

Plus la surface du sol de la côte ou du rivage est rugueuse, plus les frottements sont importants et génèrent des perturbations de l'écoulement de l'air. Perturbations qui se font sentir bien en aval sur le plan d'eau concerné.

Des tableaux reportant les coefficients de rugosité des sols en fonction de leur composition ont été établis et servent à déterminer les effets prévisibles sur le vent près du sol des différents types de surfaces.

On extrapole de ces tableaux que les perturbations du vent sont, dans l'ordre croissant : faibles sur l'eau et la glace, moyennement faibles sur les sols plats, plus fortes sur les forêts et jusqu'à fortes et chaotiques sur les sols couverts d'habitations et d'infrastructures à la répartition plus ou moins aléatoire.

L'une des conséquences de la rugosité des surfaces sur lesquelles souffle le vent est une diminution du vent moyen dans les basses couches ainsi qu'une rotation de sa direction vers la droite due à la force de Coriolis. Le fort ralentissement du vent corrélé au fort gradient de viscosité du sol induit un fort gradient vertical de la direction du vent. Entre 0 et 500 m de hauteur on l'estime à environ 15° sur l'eau et jusqu'à plus de 40° au-dessus d'une forêt. (Fig 11)

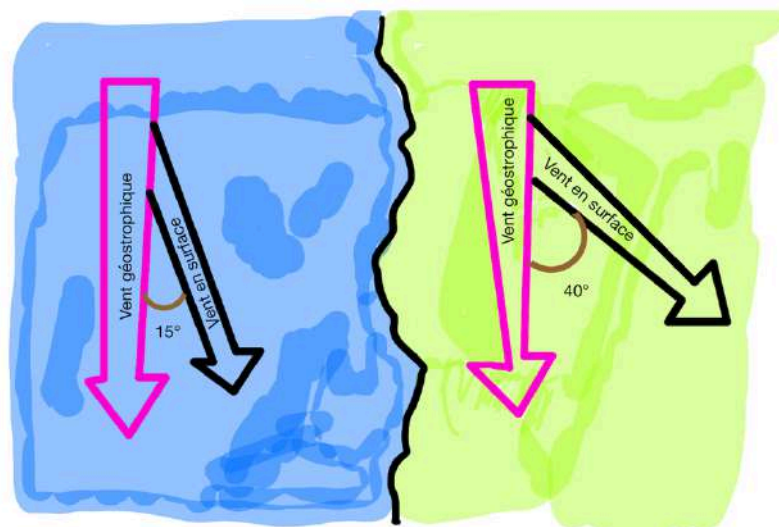


Figure 11. (Déviation du vent sur terre et sur l'eau).

3.2.2.2. La stabilité de la masse d'air

Dans le cas d'une masse d'air stable, il y a très peu d'échanges verticaux turbulents entre les différentes couches d'air en fonction de la hauteur. En revanche, en atmosphère instable ou convective, les vitesses moyennes du vent, compte tenu du brassage induit, sont plus élevées au ras de l'eau c'est-à-dire dans la couche de surface.

3.2.2.3. La variation diurne de la température des surfaces terrestres

En dehors des phénomènes de brises abordés plus loin, la variation diurne de la température des surfaces terrestres en bordure de mer ou de lacs peut être à l'origine d'une modification de l'état des couches d'air notamment près du sol.

C'est le cas lors de journées sans couverture nuageuse à proximité et sur les plans d'eau qui sont propices à de fortes amplitudes de températures. On peut s'attendre à une augmentation significative du vent de surface lors des heures les plus chaudes de la journée. Plus au large c'est moins vrai car l'air séjourne longtemps au-dessus de la surface d'eau à la température plus stable et constante renforçant de ce fait l'inertie de la masse d'air aux changements de température.

3.2.2.4. Effets locaux liés à l'orientation du vent par rapport à la côte ou au rivage

On s'intéresse ici aux transitions terre-mer-terre en étudiant les variations en force et direction des vents qui passent d'une surface terrestre à une surface d'eau et inversement, de vents longeant une côte ou un rivage et enfin de vents venants de l'eau à l'approche d'une côte ou d'un rivage. Les modèles d'étude utilisés se cantonnent à des côtes ou rivages non escarpés et plutôt plats à proximité du plan d'eau afin d'en tirer des conclusions générales non impactées par une prise en compte complexe de paramètres plus aléatoires dus aux irrégularités du relief.

4. Les modèles de situations typiques

En fonction de la direction du vent géostrophique que l'on obtiendra sur les cartes météo synoptiques (prévisions de Météo France par exemple) et de la configuration de la côte ou du rivage on peut extrapoler un certain nombre de situations typiques comme modèles d'aide à la décision pour les pilotes d'hydravions.

Une bonne connaissance des mécanismes qui génèrent ces situations typiques est un atout indéniable permettant d'évoluer en sécurité sur un plan d'eau, à fortiori s'il n'est pas pratiqué régulièrement par le pilote.

4.1. Vent soufflant de la terre

La rotation du vent due à la force de Coriolis de 40° (au-dessus de la terre) à 15° (au-dessus de l'eau) se fait en une distance de la côte ou du rivage d'environ 1 km en conditions instables et à 5 km en conditions stables selon la direction du vent. Plus la direction du vent géostrophique est parallèle à la côte ou au rivage, plus la rotation et le renforcement se font sur une courte distance. (Fig 12)

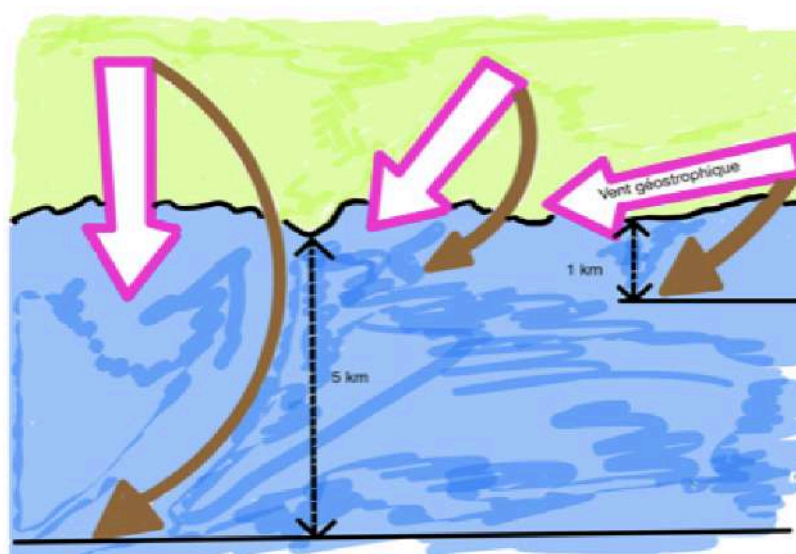


Figure 12. Accélération et rotation du vent lors du passage terre-me

4.2. Vent venant d'une direction proche de la parallèle à la côte ou rivage

4.2.1 Face au vent et côte ou rivage à notre gauche

Dans ce cas, les vents sur l'eau et à terre convergent (pour un même vent géostrophique). Il en résulte la création d'une bande de vent plus fort près de la côte qu'au large. Sur une côte rectiligne, cette bande de vent s'étend sur 2 à 5 km du bord et présente des survitesses allant jusqu'à environ 25% du vent au large. (Fig 13)

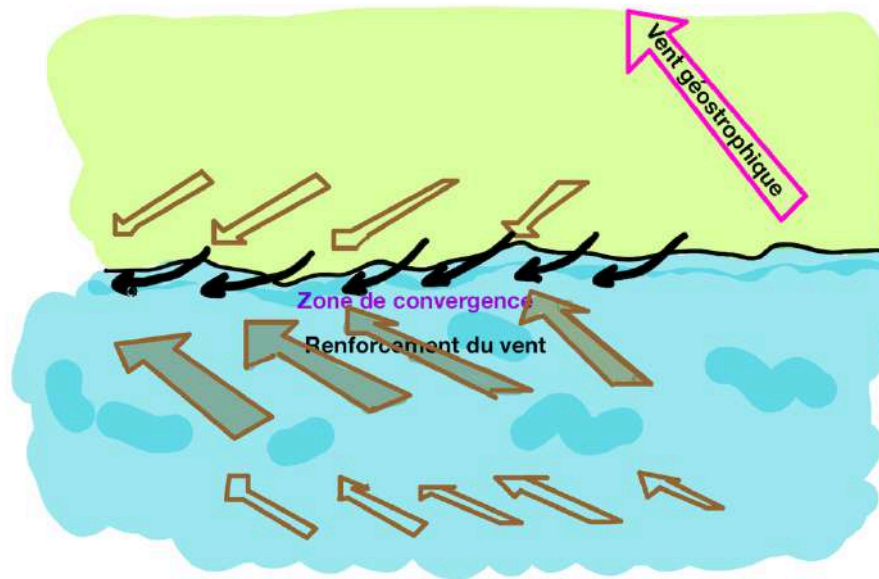


Figure 13. Évolution du vent en surface, plus fort près de la côte qu'au large.
(Effet côte à gauche)

4.2.2. Face au vent et côte ou rivage à notre droite

Dans ce cas, on se retrouve avec une zone de vent faible due à la divergence du vent en surface. La localisation de cet effet est plus délicate à déterminer que dans le cas précédent. Dans les journées les plus ensoleillées, l'effet de diminution du vent peut être contrecarré par un renforcement thermique près de la côte ou du rivage lié à l'établissement d'une brise de mer. (Fig 14)

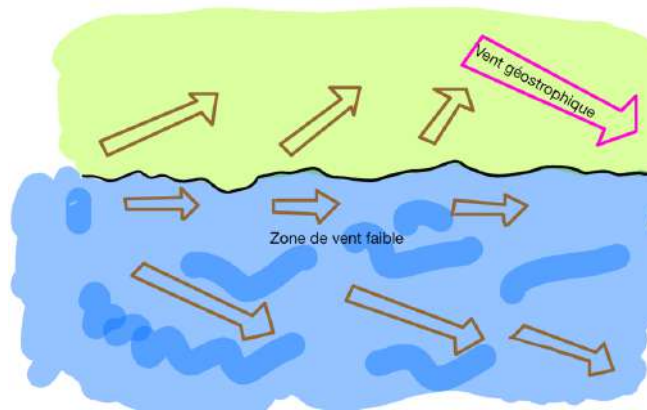


Figure 14. On note une zone de vent faible près de la côte (Effet côte à droite).

4.3. Vent soufflant de la surface d'eau

On ne notera rien de particulier tant que le relief de la côte ou du rivage n'est pas trop marqué.

4.4. Effet Venturi

Il s'agit du phénomène d'accélération d'un fluide lorsque celui-ci est contraint de suivre un trajet en forme de goulot. En d'autres termes, ce fluide en écoulement subit une dépression là où la vitesse d'écoulement augmente, ou encore là où la section d'écoulement se rétrécit. (Fig 15) et (Fig 16)

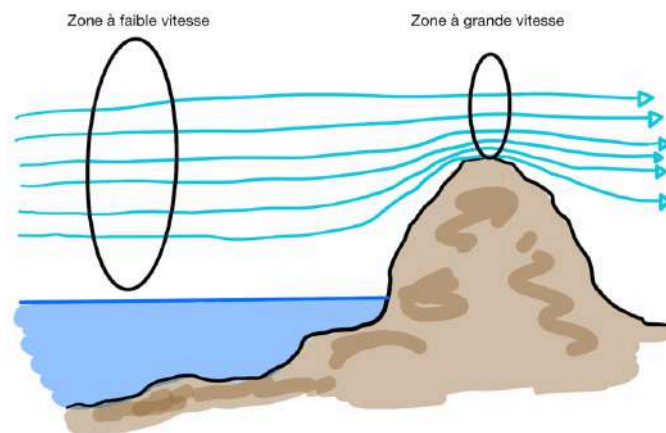


Figure 15. Accélération du vent au passage d'un relief par effet Venturi.

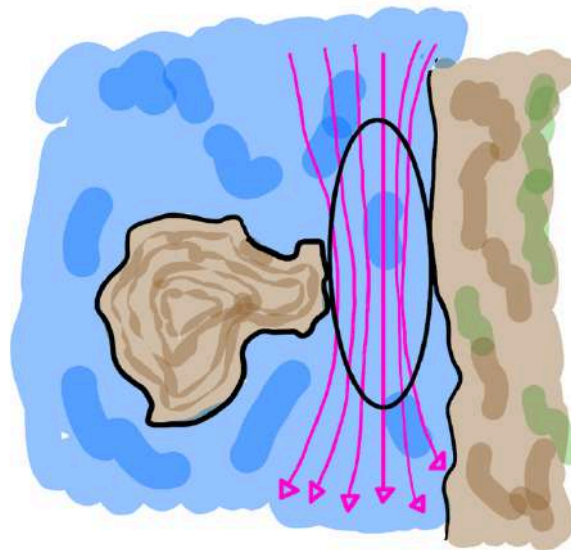


Figure 16. Accélération du vent au passage entre deux reliefs par effet Venturi.

4.5. Effets dus au relief et à la turbulence

L'influence d'un relief en bordure de côte ou de rivage a un impact sur le flux d'air sous le vent du relief. Dans le cas d'un vent venant de terre, l'influence de ce relief sur le flux d'air peut se faire sentir en mer ou sur un lac jusqu'à une distance de dix fois la hauteur du relief. Le pilote d'hydravion volant à proximité de ce relief doit s'attendre à une zone de turbulence directement sous le vent de la zone abritée du vent (miroir) située juste au pied du relief. (Fig 17) et (Fig 18)

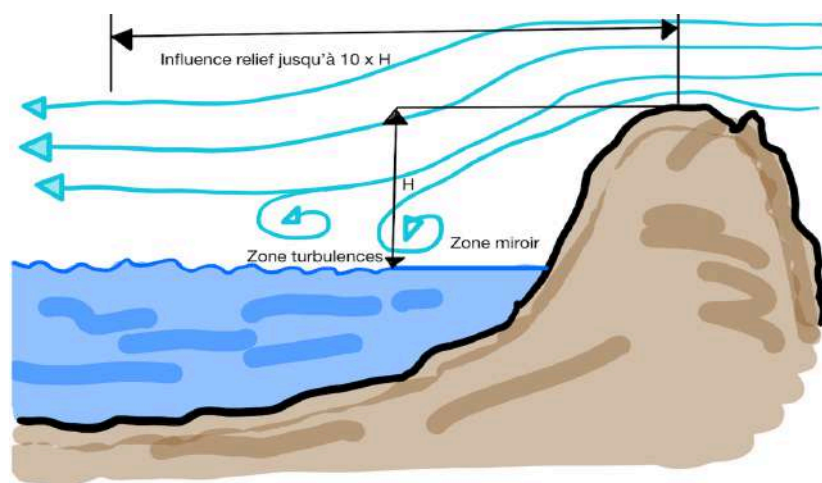


Figure 17. Zone sans vent juste au pied du relief, puis zone de turbulences.

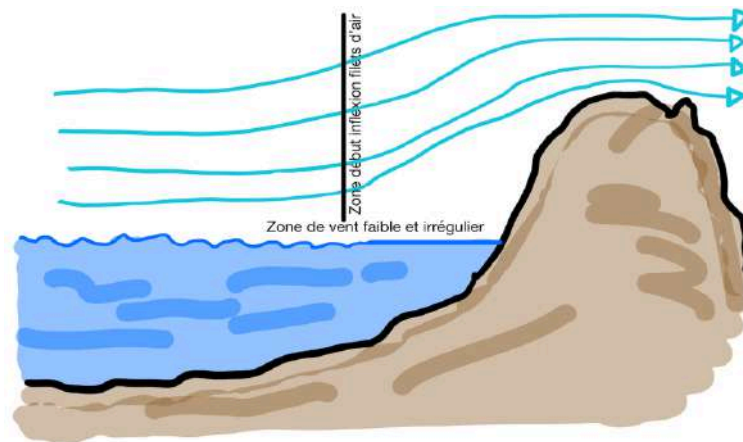


Figure 18. Zone de vent faible au pied du relief.

4.6. Les turbulences rabattantes

Près d'une rive élevée et dans certaines conditions, le vent soufflant plus fort subit une altération verticale. Il se forme alors des rotors rabattant l'hydravion vers la surface quand on se trouve à proximité de la côte. A flot, si le courant d'air souffle du large, il aura tendance à pousser l'hydravion vers la rive (dangereux si elle est rocailleuse) et s'il vient de la berge l'utilisation d'une pagaie sera impossible. Ces conditions dangereuses peuvent être identifiées par une inversion du sens de la houle séparée ou non d'une zone calme entre les deux. Ce phénomène est dénommé « williwaw » en anglais. (Fig. 19)

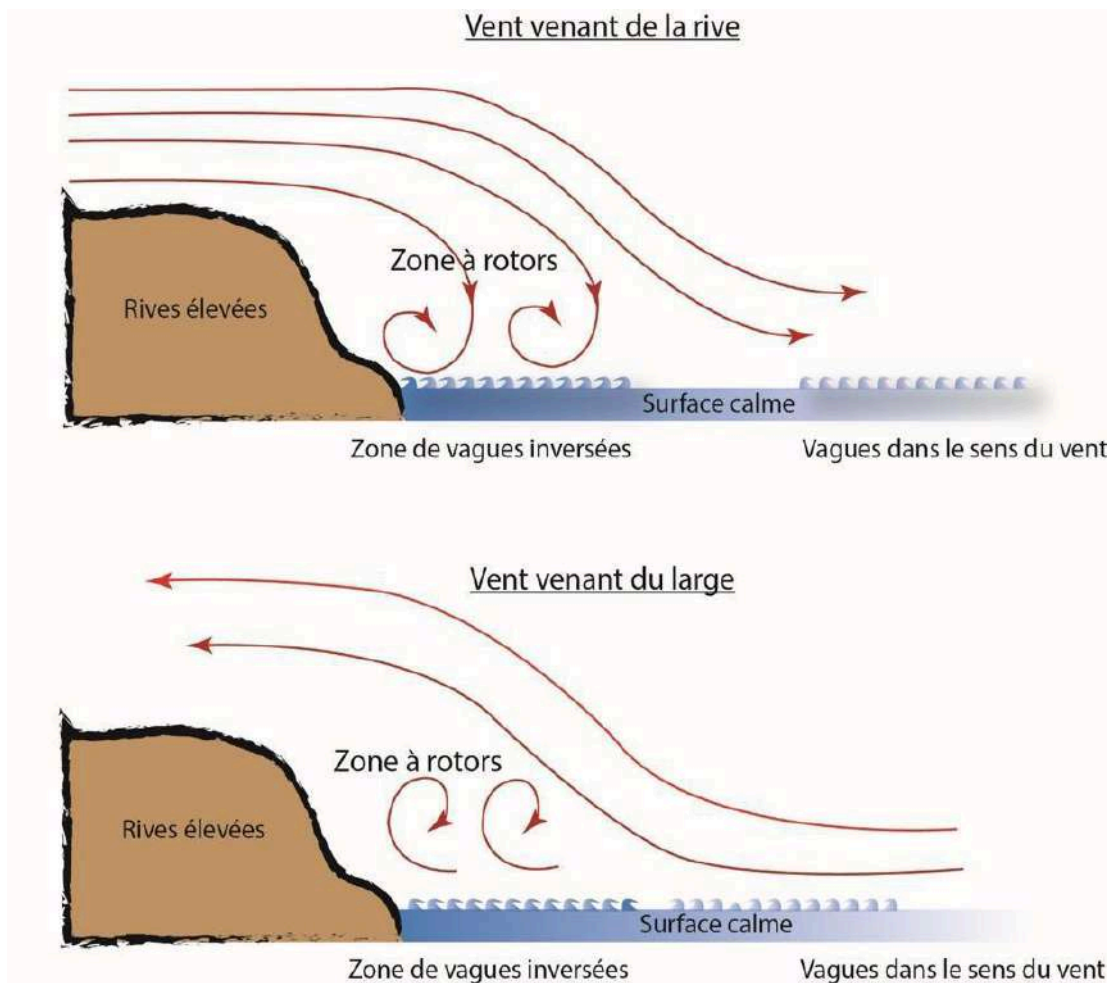


Figure 19. Les rotors rabattant « williwaw »

4.7. Les phénomènes de risées

Il s'agit d'une augmentation subite et momentanée du vent, qui dure plus longtemps qu'une rafale, et provoque à la surface de l'eau des rides sous forme de tâches foncées bien marquées. Le pilote d'hydravion peut considérer qu'il s'agit de « micro-windshears » et doit éviter si possible de se poser dans les zones concernées. (Fig 20) et (Fig 21)

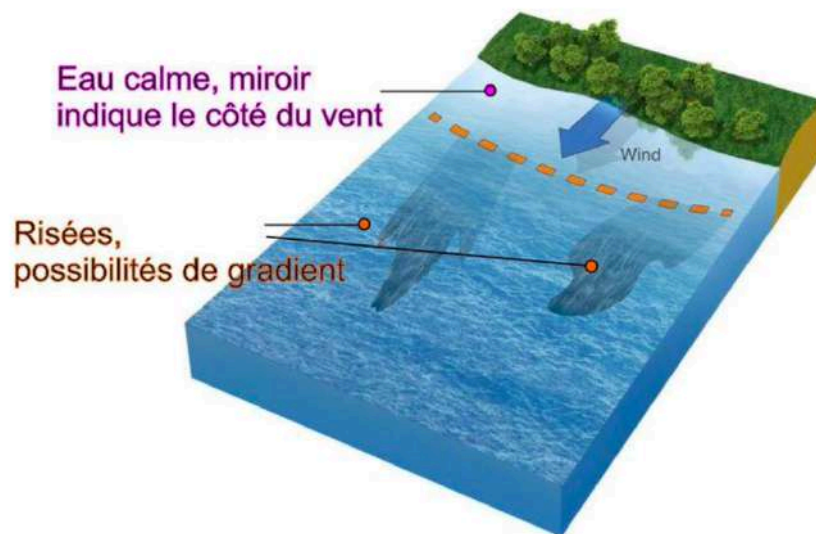


Figure 20. Phénomène de risées.



Figure 21. Zone de risées marquée.

4.8. Influence d'une île

Nous nous intéressons aux modifications locales du vent passant à proximité d'une île ou d'une presqu'île.

La présence d'une île sur le trajet du vent modifie la force et la direction de ce vent.

Ces modifications trouvent leur origine dans la rugosité des sols et de la stabilité de la masse d'air, comme vu précédemment, mais aussi dans les dimensions même de l'île. En effet, la

hauteur et l'étendue de l'île vont avoir une grande influence sur le vent qui la survole et l'entoure.

On estime que les effets de la présence d'une île sur le vent s'étendent sur une distance jusqu'à trente fois la hauteur de l'île.

Immédiatement sous le vent de l'île, on trouve les zones dites « miroitantes », à vent nul. (Fig 22)

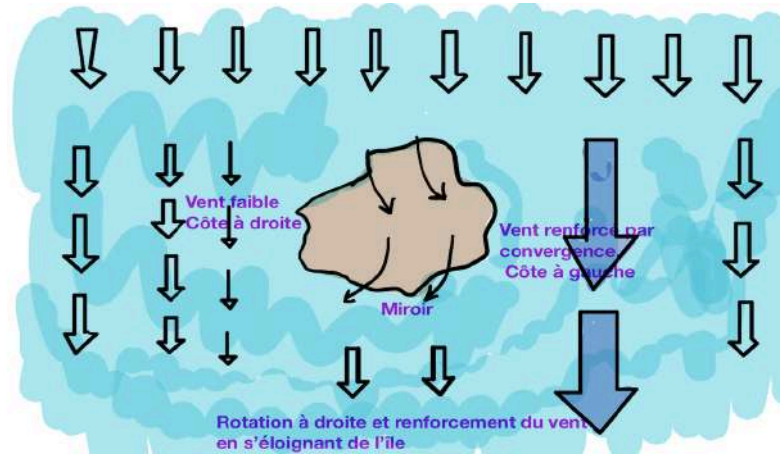


Figure 22. Influence d'une île sur le vent à la surface.

4.9. Effets liés aux gradients de température de la surface de l'eau

En mer, les gradients de température de l'eau peuvent être dus à l'apport d'eau d'une rivière à son embouchure, aux courants de marées ou encore à un vent de terre suffisamment fort pour entraîner les couches de surface de l'eau au large et laisser ainsi la place à de l'eau plus fraîche venant du fond. (Fig 23)

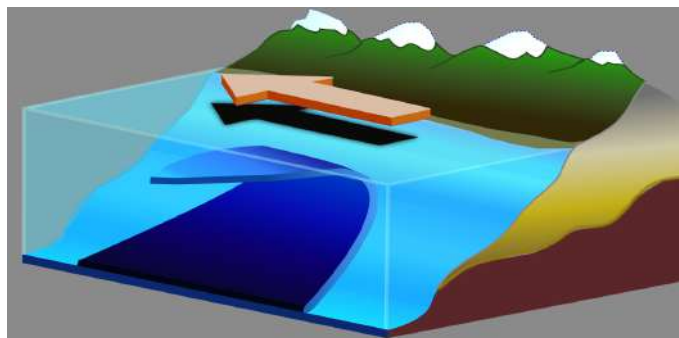


Figure 23. Remontée d'eau froide remplaçant l'eau de surface.

Mais le principal refroidissement des basses couches de l'atmosphère est dû à un refroidissement de l'eau de surface. Ceci augmente la stabilité de la masse d'air et favorise donc un ralentissement du vent en surface ainsi qu'une rotation de Coriolis à droite. Si la masse d'air au-dessus de la surface la plus froide cohabite avec une masse d'air instable au-dessus de la surface la plus chaude, on peut s'attendre à des différences de la force du vent jusqu'à 25%. (Fig 24)

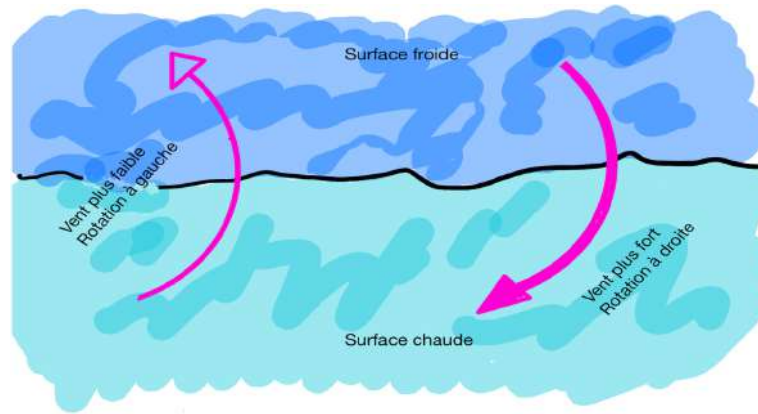


Figure 24. Effet d'un gradient de température sur le vent (vue de dessus).

4.10. Les brises thermiques

4.10.1. Brise de mer

On ne traitera pas dans ce manuel de la brise de terre qui est un phénomène essentiellement nocturne, notre propos étant la pratique de l'hydravion de jour dans le cadre de la qualification de classe monomoteur mono pilote.

La brise de mer apparaît généralement le long d'une côte lorsque la température de surface de la terre est supérieure à celle de la mer ou du lac.

Ce gradient de température crée un courant ascendant sur la terre, un retour du flux en altitude et un retour d'air descendant sur la mer. Ce cycle en boucle génère un vent qui souffle de la mer ou du lac vers la terre. (Fig 25)

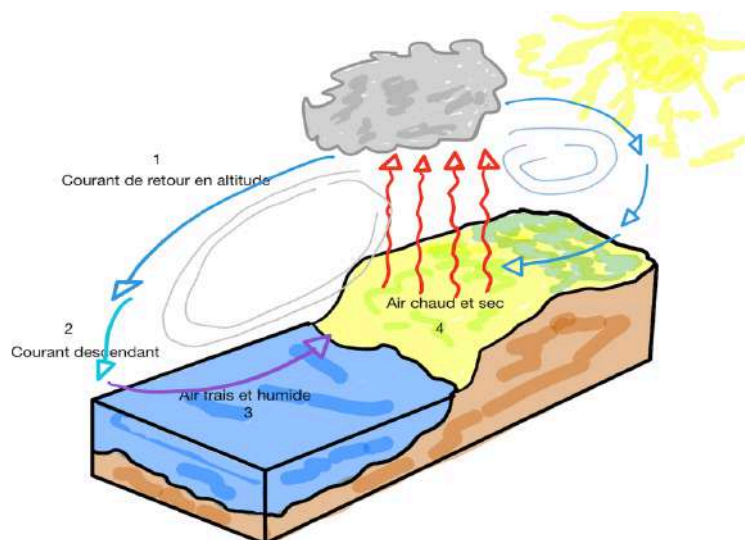


Figure 25. Schéma du processus de formation de la brise de mer.

Le phénomène de brise de mer est très courant le long des côtes et rivages lors de belles journées ensoleillées. On a pu mesurer des différences de températures entre des sites en bord de mer et des sites à plus de 20 km dans les terres jusqu'à 9°C.

En moyenne, l'extension verticale de la brise de mer est de l'ordre du kilomètre.

L'extension horizontale de la brise de mer est beaucoup plus importante sur l'eau que sur la terre. Cependant dans certaines conditions, notamment lorsque le vent géostrophique est parallèle au trait de côte, on a observé des brises de mer s'enfonçant jusqu'à 25 km à l'intérieur des terres alors qu'elles ne s'étendent en mer que jusqu'à une dizaine de km.

Plusieurs paramètres influencent l'établissement de la brise de mer :

- La qualité du sol en bordure de mer ou de lac traduite en coefficient de rugosité. Les sols artificiels (Bâtiments, parkings, routes...) se réchauffent plus vite que les sols recouverts de végétation. La présence de villes influence l'apparition de la brise de mer.
- Le relief des zones côtières est un paramètre essentiel des phénomènes thermiques influençant le déclenchement des brises de mer. Par exemple, si une pente ascendante bien dégagée et bien exposée au soleil se trouve à proximité du trait de côte, les phénomènes d'air ascendants inhérents vont accélérer l'apparition de la brise de mer en anticipant les courants de retour en altitude. C'est l'inverse dans le cas où cette surface est abritée du soleil par une couverture nuageuse.
- La forme du trait de côte a une grande influence sur la brise de mer selon qu'elle crée des phénomènes de convergence (côte convexe) ou de divergence (côte concave) sur le vent de surface.

4.10.2. Particularité des lacs

Pour des lacs de dimensions conséquentes, de l'ordre de 40-50 km de longueur on retrouve sur chaque rive du lac le système de brise explicité précédemment.

Pour les lacs de dimensions plus faibles, l'alimentation du système circulaire de brise en air frais devient insuffisante au bout d'un certain temps et le phénomène de brise cesse jusqu'à ce que le sol à terre se réchauffe à nouveau suffisamment pour réamorcer le cycle de circulation d'air générateur de la brise de mer. On estime, pour un lac de 5-6 km de long, un laps de temps nécessaire de l'ordre de 20-30 min. On assiste alors à une alternance de cycles de brise de mer dont la fréquence dépend de la taille du lac.

4.10.3. Particularités des îles

Nous avons affaire dans ce cas à une alternance de cycles de brise (de l'ordre de 20-30 min pour une île de 10-15 km de diamètre) à l'identique de ce que l'on peut trouver sur les lacs, mais dont la cause est la baisse de température du sol de l'île due à l'apport d'air frais de la brise de mer sur la surface relativement faible de l'île.

Pour l'établissement d'une brise stable identique aux systèmes en bordure de littoral long, on estime une largeur d'île d'au moins 100 km.

4.10.4. Brise de vallée

Celles qui nous intéressent sont essentiellement diurnes. Comme les brises de mer, elles sont dépendantes de l'ensoleillement et ont donc peu de chances de se produire l'hiver ou par couverture nuageuse dense.

Les brises de vallées diurnes génèrent des ascendances qui se trouvent côté relief. (Fig 26)

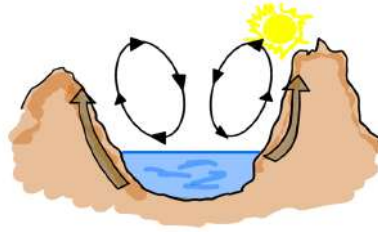


Figure 26. Brise de vallée diurne.

4.10.4. Les phénomènes d'inertie

Les différences considérables de viscosité et de densité entre l'eau et l'air favorisent les phénomènes d'inertie que l'on constate parfois entre l'état de surface de l'eau et le vent actuel.

Le vent peut avoir soufflé toute une nuit et se calmer totalement au lever du soleil.

Le pilote d'hydravion arrivant à ce moment-là sur le plan d'eau, sera surpris de trouver un plan d'eau agité avec un vent nul. Ceci est dû au fait qu'il faut un certain temps à l'élément liquide pour amortir l'agitation créée par le vent de la nuit.

Inversement, le pilote peut trouver un lac quasiment miroir avec un vent non nul. Dans ce cas, il verra au cours de son vol l'évolution assez rapide de l'état de la surface d'eau qui deviendra agitée au fur et à mesure de la progression et de l'augmentation de la force du vent.

Par vent relativement bien établi, le pilote se fiera aux traînées sur l'eau parallèles à la direction du vent afin d'amerrir face au vent. Mais là encore, en approche finale en vue d'amerrir, il devra se méfier lors des passages de grains car il peut subir des rafales de vent arrière sans que cela ne perturbe en rien la direction et la forme des traînées sur l'eau de du fait de l'inertie de l'élément liquide comparativement à l'air.

5. CONCLUSION

Pour résumer, on ne peut pas voir directement les mouvements de l'air, mais on peut observer comment il affecte l'environnement et le plan d'eau où l'on opère. Le mouvement des arbres, l'état de surface du plan d'eau et toutes les choses que l'on peut observer aux abords des berges vont donner de précieux renseignements au pilote.

Le pilote d'hydravions doit apprendre à lire le plan d'eau du sol ou en vol pour être capable d'en extraire et interpréter tous les éléments d'informations dont il peut avoir besoin.

Ceci nécessite une expertise qui ne peut s'acquérir qu'avec le temps et...l'expérience.

1. INTRODUCTION

Le pilote d'hydravion est confronté à l'élément liquide lors de ses évolutions, soit en mer à proximité des côtes ou encore sur les eaux intérieures, lacs et rivières.

Cette étude a pour objet de lui donner quelques pistes de réflexion et quelques notions sur le comportement de l'élément liquide sur lequel il sera appelé à évoluer afin qu'il conduise ses opérations en sécurité.

De nombreux paramètres entrent en ligne de compte dans l'évaluation d'un plan d'eau en vue d'y évoluer en hydravion. Il s'agit de la densité du liquide, de la caractéristique des vagues, de la propagation de la houle, des courants marins, des marées en mer etc...

2. NOTIONS SIMPLIFIÉES D'HYDRODYNAMIQUE

2.1. Définitions quant aux caractéristiques de l'eau naturelle (océans, mers lacs et étangs)

2.1.1. La densité

La densité de l'eau douce pure est de 1 kilogramme par litre d'eau. L'eau de mer est environ 2,5% plus dense que l'eau douce, soit environ 1,025 kilogramme par litre d'eau de mer. Ceci est dû en grande partie au sel dissous dans l'eau de mer (environ 35 g de sel par litre d'eau de mer en moyenne). L'eau de mer est donc plus « porteuse » que l'eau douce. On peut déjà intuitivement le fait que pour le même effet de la force d'Archimède sur un corps flottant, ce dernier déplace un volume d'eau supérieur dans l'eau douce comparativement à celui déplacé dans l'eau de mer. En d'autres termes, le flotteur s'enfonce plus dans l'eau douce que dans l'eau de mer à masse supportée égale... La densité de l'eau douce pure est proche de 815 fois celle de l'air au niveau de la mer. Ceci laisse entrevoir les contraintes qui s'exercent sur un flotteur ou une coque d'hydravion à l'amerrissage... Les forces exercées sur un objet entrant en contact avec l'eau sont proportionnelles au carré de la vitesse de contact.

2.1.2. La vague :

Qu'est-ce qu'une vague ?

Une vague c'est de l'eau mise en mouvement par une énergie formant une onde. Le vent est la principale source d'énergie génératrice des vagues. La formation des vagues va dépendre du « Fetch ».

De nature ondulatoire, les vagues représentent un transfert de forme et non de masse. Cela signifie que si l'on se trouve sur une vague, la trajectoire que l'on décrit lors de l'oscillation est circulaire. Une particule d'eau au sein de la vague décrit des cercles de diamètre de plus en plus petit au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur. (Fig 27)

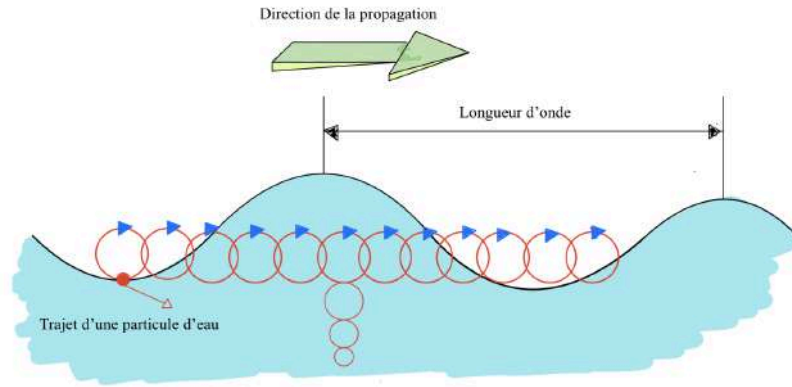


Figure 27. Trajectoire d'une particule d'eau.

2.1.3. La houle

Qu'est-ce que la houle ?

Les marins distinguent la houle et la mer du vent. La mer du vent est créée par le vent qui règne au lieu et à l'heure d'observation. La houle a été créée par un vent qui n'est pas le vent présent, soit qu'elle ait été engendrée ailleurs et qu'elle se soit propagée, soit que le vent générateur ait cessé ou changé de direction. La houle est surtout présente en mer et ne concerne que les lacs de grandes dimensions. (Fig 28)

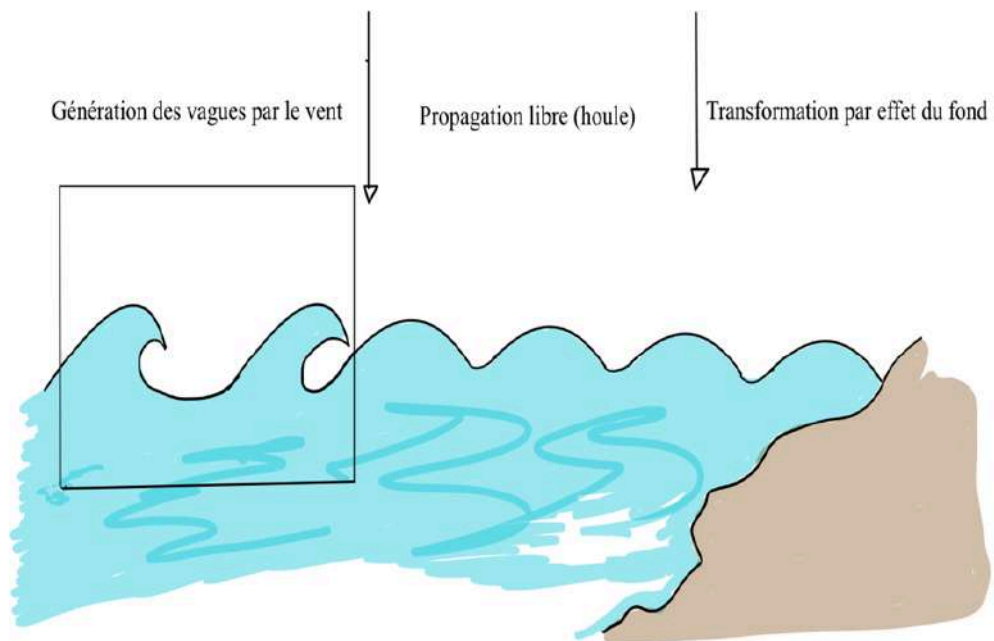


Figure 28. Houle et vagues.

2.1.4. Le fetch

Qu'est-ce que le « Fetch » ?

Le Fetch est le temps et la distance parcourue par un même vent sur un plan d'eau sans obstacle. On peut dire que le Fetch est la zone d'élan permettant au vent de lever une mer.

A titre d'exemple, les scientifiques ont évalué que des vagues de 10m de haut et de période 11 secondes peuvent être produites localement par un vent soufflant à 45 nœuds pendant 20 heures sur une distance de 250 km.

Des tableaux, à partir d'au moins 10 nœuds de vent, permettent d'évaluer la hauteur prévisible des vagues en fonction de la force et de la durée du vent sur une distance donnée (en milles dans le tableau) (Fig.29).

FETCH

Vent (kts)	Distance couverte (Nm)	Durée du vent (h)	Hauteur de vague (m)
10	10	2,5	0,25
20	75	10	1,5
30	270	24	4
40	700	40	8,5

Figure 29. Tableau de hauteur de vagues en fonction du Fetch.

Le maximum de hauteur de vague indiqué dans le tableau dépend d'une valeur minimale de Fetch. Si la surface du plan d'eau est inférieure à ce « minimum Fetch », les vagues n'atteindront pas la valeur calculée en fonction du vent in situ. Ceci explique que sur des plans d'eau réduits la hauteur constatée des vagues n'atteint pas la valeur théorique prévue en fonction du vent réel et reste faible malgré la présence d'un vent fort. (Fig 30)

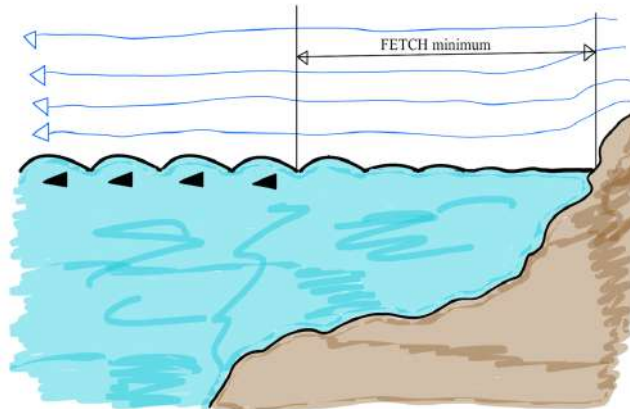


Figure 30. Valeur mini du Fetch pour atteindre la valeur théorique de hauteur de vagues.

2.2. Tout ce que le pilote d'hydravion doit connaître sur la dynamique des vagues

Le pilote d'hydravion doit avoir une bonne connaissance des caractéristiques des vagues, de leur formation ainsi que de leur propagation spatiale et temporelle.

La dynamique des vagues est une science complexe, qui fait appel à de nombreuses notions scientifiques qui n'entrent pas dans le propos de cette étude.

Cependant, le pilote d'hydravion doit être capable d'évaluer la hauteur des vagues, la longueur de la houle, la formation et l'évolution du clapot, l'évolution des perturbations causées par les autres utilisateurs du plan d'eau ou par les obstacles présents (Îlots, barges, récifs etc...).

2.2.1. Les vagues sont des ondes

On peut les caractériser par :

- o Leur **célérité c** , qui est la vitesse de la vague (L/T)
- o Leur **longueur d'onde L** , qui est la distance entre deux crêtes
- o Leur **période P** , qui est l'écart temporel entre deux vagues
- o Leur **amplitude h** , qui est la distance verticale entre un creux et la crête suivante.

(Fig.31)

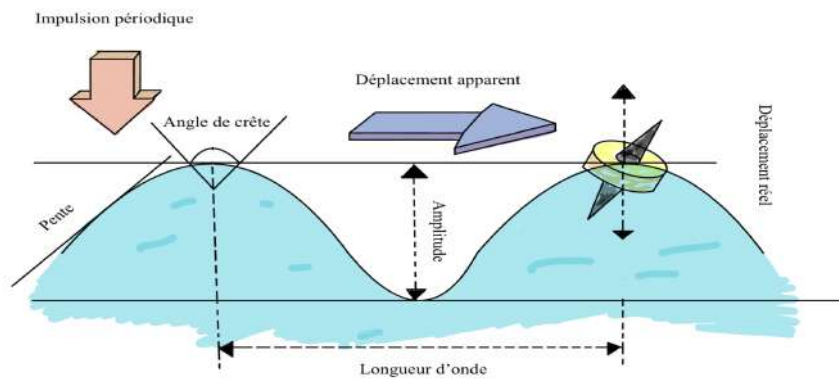


Figure 31. Les caractéristiques de la vague.

Les vagues sont d'autant plus rapides que leur longueur d'onde est grande. A longueur d'onde égale, les grosses vagues sont légèrement plus rapides que les petites vagues. En l'absence de vent, les vagues s'éteignent progressivement et ce d'autant plus vite que leur longueur d'onde est petite.

2.2.2. Influence de la longueur d'onde des vagues en rapport avec la longueur de coque ou des flotteurs

Cette influence est évidemment fonction de la taille de l'hydravion concerné. Notre propos étant relatif à l'hydravation dite « légère », nous ne nous intéressons ici qu'à l'exploitation de ces derniers.

Le comportement de l'hydravion léger à flot sera directement impacté par le « train de vagues » rencontré par la coque ou les flotteurs.

2.2.2.1. Présence de « vaguelettes »

Il s'agit d'un train de petites vagues (plus d'une dizaine) passant sous la totalité de la longueur de coque ou de flotteurs de l'hydravion. Elles sont de faible amplitude et faible longueur d'onde, se déplacent perpendiculairement à la brise qui les pousse.

Elles facilitent les opérations à flot grâce aux phénomènes de cavitation qu'elles génèrent réduisant les effets de succion exercés par l'eau sur la coque ou les flotteurs. Ce sont les conditions les plus favorables aux manœuvres à flot des hydravions. (Fig. 32)

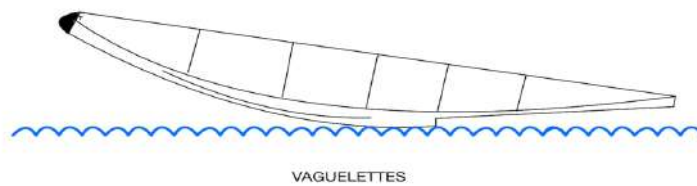


Figure 32.

2.2.2.2. Présence de petites vagues

Il s'agit dans ce cas d'un train de vagues (inférieur à la dizaine) d'une faible amplitude mais supérieure à celle des vaguelettes. La longueur de la coque ou des flotteurs repose simultanément sur plusieurs crêtes de vagues. On atteint dans ce cas la limite raisonnable d'utilisation en sécurité des hydravions légers. (Fig.33)

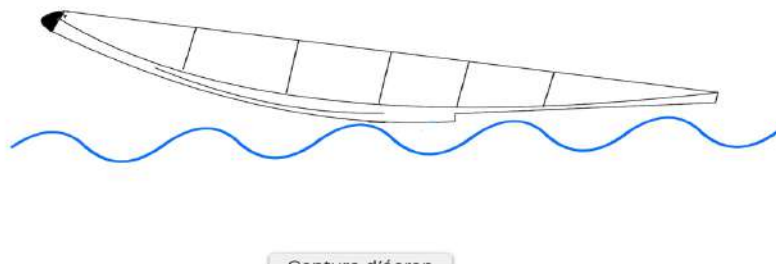


Figure 33.

2.2.2.3. Présence de vagues moyennes

Ce sont des vagues dont la longueur d'onde est comparable à la longueur de coque ou de flotteurs de l'hydravion. On les trouve plutôt en mer ou sur les grands lacs. Ce sont les vagues qui présentent le plus de dangerosité pour les manœuvres à flot des hydravions légers, notamment pour les hydravions à coque.

Elles sont propices au « marsouinage » lors des manœuvres de décollage et augmentent les risques d'enfournage. (Fig 34)

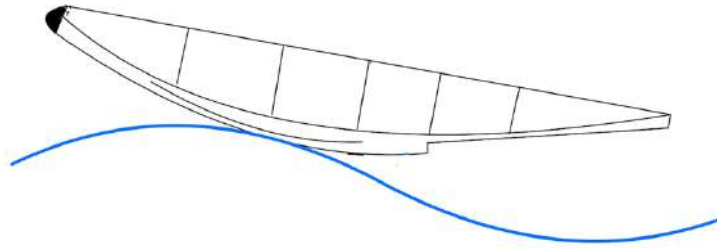


Figure 34.

2.2.2.4. Présence de longues vagues

Ce sont des vagues dont la longueur d'onde est bien plus grande que celle des flotteurs ou de la coque. On les trouve généralement en mer. Elles sont caractéristiques de la houle. Leur dangerosité dépend de leur amplitude. (Fig 35)

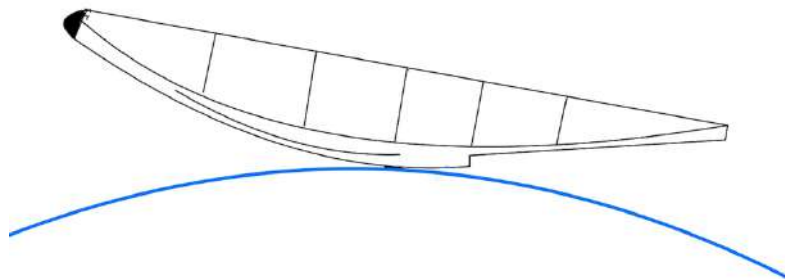


Figure 35.

2.2.3. Le déferlement

Dans sa pratique, le pilote d'hydravion aura à accoster un ponton, une plage ou encore une rampe. Selon l'état d'agitation du plan d'eau pratiqué, il sera parfois confronté au déferlement de vagues pouvant présenter un danger en fonction du type d'hydravion utilisé. A ce titre il doit avoir un minimum de connaissances quant aux types de déferlantes qu'il est susceptible de rencontrer.

o Principe général de la formation du déferlement :

A peine sensible en pleine mer, la houle s'amplifie au voisinage de la côte ou du rivage lorsque la profondeur diminue. Elle ralentit alors et sa hauteur augmente. A l'approche du rivage, lorsque le fond augmente en pente douce, le mouvement circulaire des particules d'eau composant les vagues, s'écrase en ellipses. Avec les frottements du fond, la vitesse et la longueur d'onde de la vague diminuent, l'amplitude augmente. C'est le déferlement et la vague s'affale sous l'effet de la pesanteur. (Fig. 36)

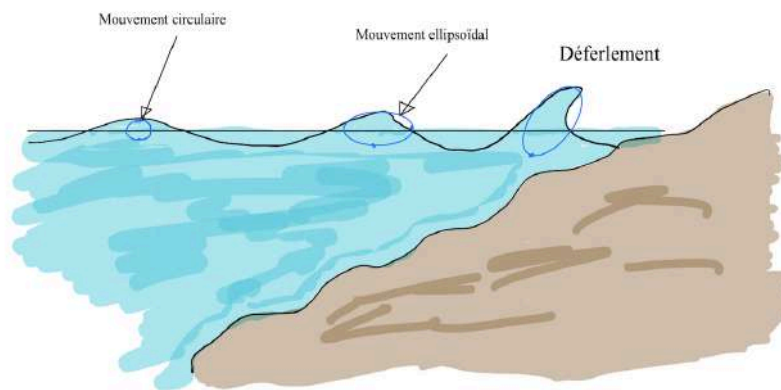


Figure 36. Principe général de la formation du déferlement.

Les vagues ne commencent à déferler qu'à partir d'au moins 5 noeuds de vent.

o On distingue trois types de déferlements :

- *Le déferlement déversant ou glissant* : C'est le déferlement le plus fréquent en pleine mer, mais on peut aussi le rencontrer à l'approche de plages en pente douce. Par l'action du vent et parce qu'elles interfèrent avec d'autres vagues, les vagues se creusent, une émulsion d'eau et d'air s'échappe de la crête et retombe sous forme de mousse que l'on appelle "moutons". Ces derniers apparaissent lorsque la hauteur de la vague atteint aux alentours de 6% de sa longueur d'onde. (Fig 37)

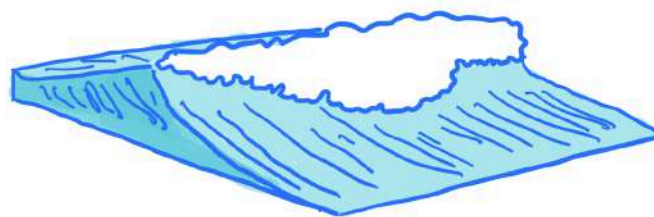


Figure 37 Le déferlement déversant ou glissant.

- *Le déferlement plongeant* : On le trouve à proximité des côtes ou rivages à forte pente, qui crée un ralentissement brutal de la vague précipitant les particules d'eau vers l'avant de la crête. Ce sont les rouleaux d'eau chers aux surfers... (Fig 38)

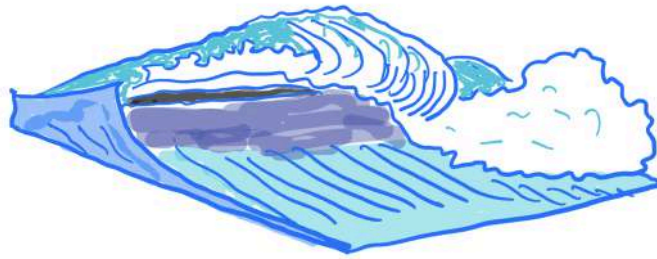


Figure 38. Le déferlement plongeant.

- *Le déferlement gonflant* : On le trouve vers les mêmes types de côtes que pour le déferlement plongeant. Mais dans ce cas, le ressac crée un courant inverse qui comprime la vague sur elle-même générant un gonflement. Un paquet d'eau se détache de la vague, non sur la crête comme les deux autres types de déferlement, mais à mi-hauteur de la vague, ce qui forme un mur d'eau. (Fig 39)

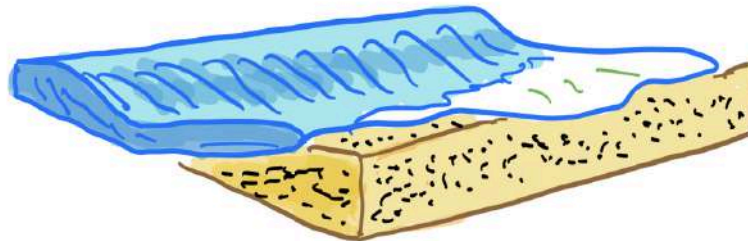


Figure 39. Le déferlement gonflant.

2.2.4. Haut-fond et banc de sable

Un haut-fond est un relief sous-marin ou la profondeur est faible. Les hauts-fonds peuvent être rocheux ou sableux. Dans ce dernier cas, leur position peut varier en fonction des courants. Les haut-fonds représentent un danger pour la navigation sur l'eau et le pilote d'hydravion devra être particulièrement attentif lors de sa reconnaissance avant d'utiliser un plan d'eau afin de détecter leur présence éventuelle.

2.3. Les classifications de l'état de la mer

2.3.1. L'échelle de Douglas

Elle est utilisée pour indiquer la mer totale, c'est-à-dire la mer du vent plus la houle. (Fig 40)

Force	Descriptif	Hauteur en mètres
0	calme	0
1	ridée	0 à 0,1
2	belle	0,1 à 0,5
3	peu agitée	0,5 à 1,25
4	agitée	1,25 à 2,5
5	forte	2,5 à 4
6	très forte	4 à 6
7	grosse	6 à 9
8	très grosse	9 à 14
9	énorme	14 et plus

Figure 40. Échelle de Douglas d'état de la mer.

2.3.2. L'échelle de Rivet

Cette échelle donne un indice des difficultés de pilotage rencontrées (manœuvres à flots, accostage, décollage et amerrissage) en prenant en compte la manœuvrabilité et l'efficacité des safrans, la résistance aux chocs de la coque ou des flotteurs, la masse de l'appareil, le vent et la houle.

Lorsque l'on combine les échelles de Beaufort et Douglas avec l'échelle de Rivet, on obtient le tableau (Fig.41) qui donne une information sur les différentes difficultés que l'on peut rencontrer à la surface du plan d'eau ou à ses abords immédiats.

3. LES OUTILS À LA DISPOSITION DU PILOTE

Dans le chapitre précédent nous vous avons présenté l'application Windy, il existe également un portail de prévisions marines très utile au pilote d'hydravion désirant se poser en mer. Il s'agit de MétéoConsult Marine.

Plus haut, paragraphe 2.1.3., nous vous avons présenté les notions de "houle" versus "mer du vent". Ce site présente une prévision de houle, mer du vent, mer totale, hauteur de houle et mer totale max. (figure 42).

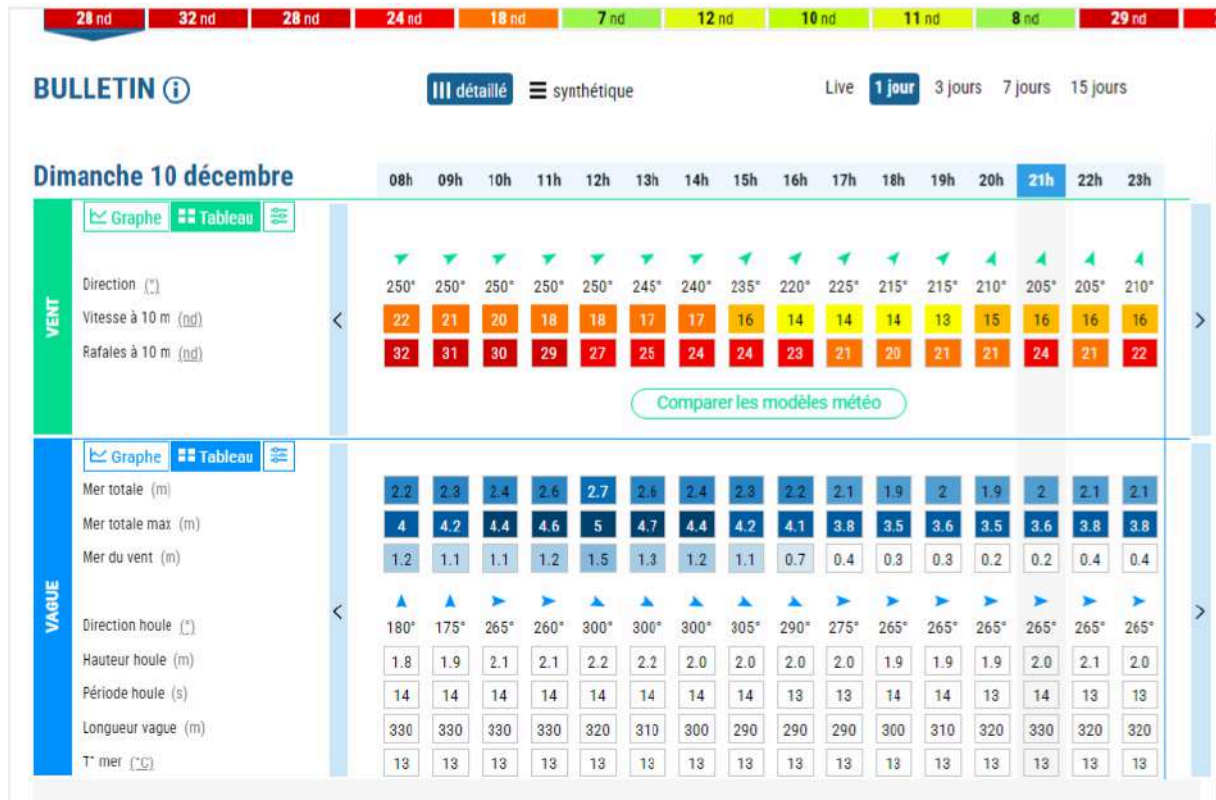


Figure 42 Extrait Météoconsult

Données disponibles pour le Dimanche 10 Décembre à 14h00 :

Vent du 240°/17 à 24 kt avec une mer du vent à 1,20 m

Houle du 300° hauteur de 2m avec une période de 14'' correspondant à une longueur de vague de 300 m

La mer totale qui peut être considérée comme un mix de la mer du vent et de la houle est de 2,4 m avec un maximum à 4,4 m.

En quoi ces données peuvent-elles être utiles au pilote d'hydravion ?

Lors du survol, la mer du vent est relativement facile à évaluer en orientation et hauteur. Mais en cas de vent nul, la houle peut être impossible à détecter lorsque le soleil est haut. En effet, sans ombre portée et crêtes visibles, un amerrissage face à la houle pourra conduire à des rebonds

inattendus et potentiellement dangereux. La consultation d'un site de prévision pourra permettre d'éviter ce type de désagrément.

4. CONCLUSION

Les notions vues précédemment sont des notions générales simplifiées qui ne traduisent pas exactement la complexité des phénomènes hydrodynamiques rencontrés en mer ou sur les lacs de grandes dimensions.

A titre d'exemple, on peut être confronté, surtout en mer ou sur des lacs de grandes dimensions, à des systèmes dits de « mer croisée ». C'est l'état d'un plan d'eau où deux systèmes de vagues cohabitent et se croisent. Le premier système de vagues peut être issu du passage d'une dépression et qui persiste malgré un changement de vent qui génère un autre système de vagues. La superposition des deux systèmes se traduit par un plan d'eau chaotique, ce qui ne facilite pas la tâche du pilote d'hydravion.

On parlera aussi de « houles croisées » lorsque les systèmes de vagues concernés ont une plus longue période que les vagues générées localement par le vent.

Enfin, il faudra aussi tenir compte des marées lors des évolutions en mer ou à l'embouchure de rivières et fleuves ainsi que des courants notamment présents dans ces derniers, phénomènes non traités dans cette étude.

Contacts et références utiles

Derry Grégoire : derrygregoire5@icloud.com

Association Française d'Hydraviation : www.association-francaise-hydraviation.fr

Windy : <https://www.windy.com/>

Site Météoconsult : <https://marine.meteoconsult.fr/>